Técnicas de gravação e mixagem de áudio
Apostila 1

1. Fundamentos do som

Os fenômenos sonoros estão relacionados com as vibrações dos corpos materiais. Quando uma pessoa fala, por exemplo, o som que ela emite é produzido pela vibração de suas cordas vocais. Da mesma forma, quando uma pessoa ouve um tambor tocar, o som produzido é consequência da vibração da membrana circular que compõe o instrumento.

As cordas vocais e o tambor são chamados de *fontes sonoras*. Ao vibrar, essas fontes produzem ondas que se propagam em um meio material qualquer (sólido, líquido, ou gasoso). Este meio está situado entre essas fontes e os ouvidos. Ao penetrarem nos ouvidos de uma pessoa, as ondas produzidas provocam vibrações no tímpano, uma membrana situada entre o ouvido externo e o médio, causando as sensações sonoras.

Pode-se dizer, então, que as ondas sonoras são geradas por corpos materiais (como uma membrana, uma corda ou colunas de ar) em vibração, produzindo a compressão e descompressão do ar. Essas compressões e descompressões resultam do deslocamento de massas de ar, definindo a direção de propagação do som.

2. Definição do som

O som pode ser definido como troca de vibrações ou pressões num meio elástico e que podem ser detectadas pelos ouvidos. Meio elástico é todo aquele que contém moléculas que após um distúrbio qualquer voltam a sua posição original antes do evento que as perturbou.

O som nada mais é que o movimento de ar quando ele se processa na forma de ondas, pela vibração das partículas. Conforme a definição, podemos considerar o som sob dois aspectos:

1) Como um fenômeno físico com certas características e propriedades.

2) Como um fenômeno fisiológico.

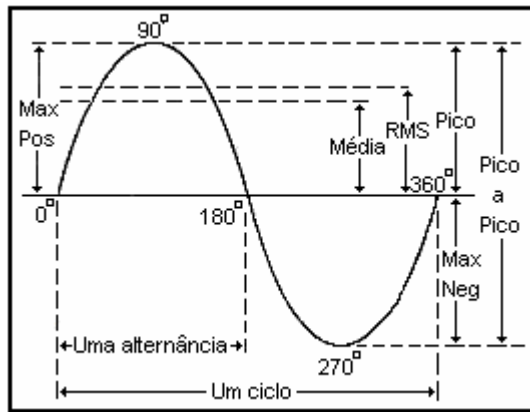
O fenômeno físico é resultante das vibrações sonoras emitidas por uma fonte qualquer em um meio elástico e que estão compreendidas entre as frequências de 20 Hertz e 20.000 Hertz (20 kHz), limites aproximados da audição humana.

O fenômeno fisiológico é a captação, através do ouvido, dessas vibrações ou distúrbios do meio, produzindo assim o sentido da audição no ser humano.

3. **Frequências**

As ondas sonoras se propagam através dos meios sólidos, líquidos e gasosos. No processo normal da audição, essa propagação se realiza através do ar. Tudo o que existe e vive sobre a superfície da Terra está envolvido pela atmosfera e, portanto, sofre uma pressão exercida pelo ar de aproximadamente 1013 milibares ou 2x10-5N/m2 (Newton por metro quadrado).

As ondas sonoras vibram em ciclos também chamados de frequências. Essas frequências são medidas através da quantidade de amplitudes positivas e negativas da variação da pressão média atmosférica que ocorre desde o início até seu fim no tempo de um segundo, ou seja, medidas pela quantidade de vibrações por segundo. Essa medida leva o nome de Hertz e é representada pela abreviação Hz (1Hz = 1 vibração por segundo).

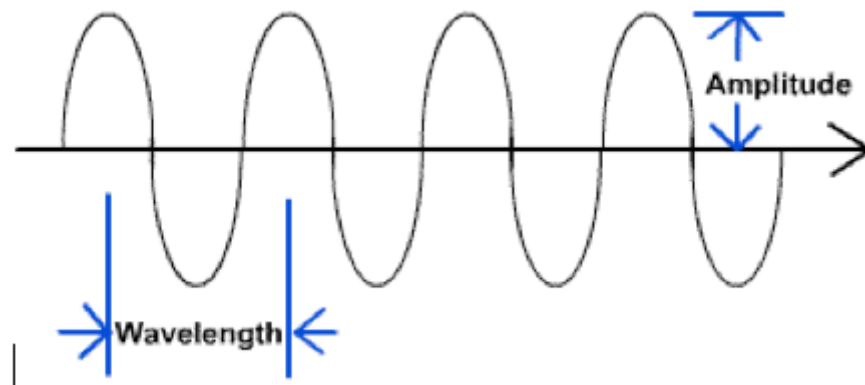
Entende-se por onda senoidal o trajeto que uma onda descreve quando sobe desde zero até um máximo de direção, volta gradualmente e troca de direção, caindo por debaixo do zero até um máximo igual ao descrito anteriormente para voltar novamente ao zero, descrevendo assim um ciclo completo ou 1 Hz.

A amplitude positiva mais a amplitude negativa do período, ou seja, 1/T, tem o nome de Hertz e a quantidade de Hertz acontecidos no tempo de um segundo significará uma determinada frequência (Hz/s). A frequência é designada pela letra **f**.

As vibrações na pressão atmosférica podem ocorrer desde frequências muito baixas (sons graves) até frequências muito altas (sons agudos), contudo, um ouvido humano normal só percebe ondas sonoras de frequências compreendidas entre 20 Hz e 20 kHz, aproximadamente. (K é abreviação de kilo, unidade que significa multiplicado por mil, no caso, 20.000 Hz). Frequências abaixo de 20 Hz ou acima de 20 KHz não são sequer percebidas por nós e seriam, do ponto de vista da percepção humana, iguais ao silêncio. Quando as frequências forem menores que 20 Hz denominam-se infra-sônicas e quando maiores que 20 kHz, ultra-sônicas.

4. **Comprimento de Onda e Amplitude**

Uma frequência grave tem o comprimento de onda (*wavelenght*) maior que uma mais aguda. O comprimento da onda é a distância medida entre os picos de uma mesma onda. A letra grega λ (*lambda*) é usada para representar essa medida, que é expressa em cm. Dentro dos parâmetros da nossa audição encontramos ondas que vão de λ= 2cm (para frequências agudas) até λ= 20m para frequências mais graves. Há uma relação inversa de grandeza entre frequência e comprimento de onda.

Outra característica importante é a quantidade de energia que uma onda possui. Chamamos de amplitude a quantidade de energia de uma onda. Quanto mais energia essa onda possuir mais alto (volume) ela poderá ser percebida. É

importante ressaltar que não há uma relação de dependência entre o comprimento da onda e sua amplitude. Podemos ter uma onda de frequência baixa e alta amplitude e vice-versa.

5. **Velocidade do som**

Como as ondas sonoras são produzidas por deformações de um meio elástico, elas não se propagam no vácuo.

A velocidade do som no ar não é constante, ela varia. Essa variação é devida a correspondência que há entre a pressão atmosférica e a temperatura. A velocidade do som se altera em uma grandeza diretamente proporcional, ou seja, quanto mais alta a temperatura, mais rápido o som viaja. Para efeitos práticos, convencionou-se que sua velocidade é de aproximadamente 340 m/s a 15° C.

É uma velocidade extremamente pequena se comparada à velocidade da luz (medida no vácuo) - 299 792 458m/s, ou aproximadamente 300 milhões de metros por segundo. Todavia, como o ar é um meio não dispersivo, todos os sons (e todas as frequências) viajarão por ele à mesma velocidade, e, por essa razão, não importa a que distância se esteja de um concerto, ouviremos todas as notas simultaneamente. Se estivermos longe do palco, pode haver um atraso em relação à imagem que vemos, mas não perceberemos esse atraso, pois a essa distância não definimos claramente os movimentos das mãos dos instrumentistas ou dos lábios dos cantores. Para as salas de cinema muito grandes, caixas de som são distribuídas por todo o ambiente de modo que fonte sonora não saia de *sync* com a imagem que vemos.

6. **Série harmônica**

Entende-se por frequência fundamental o componente principal de uma forma de onda complexa ou o componente que tem a frequência mais baixa. Utilizando-se a definição física, a frequência fundamental é chamada de primeiro harmônico, **f1**. Pode-se determinar qualquer harmônico multiplicando-se a fundamental pela ordem do harmônico desejado. Por exemplo: O terceiro harmônico de 100 Hz é 300 Hz.

Os sons sub-harmônicos são obtidos mediante a divisão da frequência fundamental pelo número de ordem do harmônico desejado: O segundo sub-harmônico de 500 Hz é 250 Hz. Embora ouvidos educados de músicos, audiófilos e técnicos em gravações sonoras, possam perceber diferenças de tom muito pequenas, tal educação não os habilita a deduzir o valor absoluto da frequência de um som, a não ser por aproximação. Com exceção da onda senoidal (*sine wave*), produzida eletronicamente, todos os sons musicais - e também os não musicais - encontrados na natureza são a combinação do som de uma frequência fundamental - a nota que soará com mais intensidade (volume) acrescida de sua série harmônica, que é uma sucessão de múltiplos desta fundamental que aparecem décimos de segundo após o início do som, influenciando de maneira definitiva na sua percepção.

Notas musicais são, no campo da física e da engenharia, apenas frequências e são expressas como tal. Um exemplo seria o LÁ = 440 Hz. No caso, significa que o nosso LÁ é afinado em 440 ciclos por segundo. Em séculos passados o LÁ era afinado em 432 Hz ou 430 Hz, pois os instrumentos da época respondiam melhor à essa afinação. Um LÁ, afinado em 440 Hz sendo tocado simultaneamente a um LÁ, afinado em 432Hz é percebido como desafinação, ou seja, há uma diferença de 8 ciclos por segundo entre as duas notas que produzirá um vibrato longo com 8 ciclos por segundo.

Quando percebemos um tom (uma nota musical definida) no som, temos um som harmônico. Por exemplo, se tivermos uma onda sonora de fundamental medida em 100 Hz, a sua séria harmônica seria composta de múltiplos desta fundamental:

100 Hz	200 Hz	300 Hz	400 Hz	500 Hz
1º Harmônico	2º Harmônico	3º Harmônico	4º Harmônico	5º Harmônico

Teoricamente a série harmônica é infinita, mas, como os harmônicos têm amplitude menor que a fundamental (e cada harmônico, na grande maioria dos casos, uma amplitude menor que o anterior), deixamos de perceber o som (e seus harmônicos) poucos segundos após cessar a emissão do som. Além do mais, os harmônicos se misturam à nota fundamental – que tem maior amplitude – e o efeito é de um som cheio de harmônicos.

Os harmônicos seguem uma lógica musical que está associada à própria essência da harmonia, ou seja, da formação dos acordes. Tomemos o nosso A=440 Hz, e vamos montar a série harmônica dele até o sexto harmônico.

440 Hz	880 Hz	1320 Hz	1760 Hz	2200 Hz	2640 Hz
1º Harmônico	2º Harmônico	3º Harmônico	4º Harmônico	5º Harmônico	6º Harmônico
A4	A5	E6	A6	C#7	E7

Podemos observar que os últimos três harmônicos da tabela acima formam uma tríade de A maior. Por essa razão não seria absurdo dizer que o sistema tonal ocidental se baseia em princípios da própria acústica e da série harmônica.

O formato da onda, juntamente com as características de amplitude da série harmônica de cada som produzido irá definir o que chamamos de timbre.

A compreensão dos harmônicos é de suma importância para que possamos analisar as características de cada som musical. Os harmônicos, juntamente com os formatos de onda, determinam todas as características dos sons usados e manipulados pelo homem na atividade musical.

Frequências acima de 20 kHz, não percebidas pela grande maioria das pessoas, são chamadas de frequências ultra-sônicas. Aparelhos convencionais não são capazes de reproduzir essas frequências e elas não têm muito uso para profissionais de áudio.

Já as frequências que se situam abaixo da fundamental são denominadas sub-harmônicos. Nesse caso, a fundamental é determinada pela frequência de maior amplitude, medida por um aparelho especial para determinar o espectro da onda. Todavia, podemos sinteticamente adicionar sub-harmônicos a um sinal de áudio obtendo efeitos interessantes, dando enorme *peso* ao sinal original.

7. **Timbre**

O timbre é a qualidade que permite ao ouvido diferenciar sons de mesma altura (tonalidade) e intensidade emitidos por fontes diferentes. Dois instrumentos musicais interpretando uma mesma nota musical não produzem a mesma impressão sonora no ouvido. Obviamente uma nota musical produzida por um piano não é igual a mesma nota produzida por um violino, mesmo que ambas tenham o mesmo tom. A essa característica que diferencia uma nota da outra é que chamamos timbre.

O timbre é determinado pelo número e pela intensidade de harmônicos que acompanham um som fundamental, é claro que sempre dependendo da fonte sonora.

Os sons reais sempre são acompanhados de certo número de harmônicos. Apenas as frequências produzidas por um gerador de sinais é que não possuem harmônicos. Tais frequências como já dissemos anteriormente, são consideradas de valores absolutos.

A intensidade dos sons harmônicos geralmente é diferente da intensidade dos fundamentais. Para cada caso há um valor determinado. O componente desses harmônicos é que dá ao som seu timbre característico. Um som é considerado rico em harmônicos e de bom timbre, quando seu fundamental vem acompanhado até o sexto ou sétimo harmônicos em combinação equilibrada para as intensidades de cada um deles.

Quando um som fundamental trás consigo harmônicos altos, acima do sétimo, a característica diz-se ser áspera.

Quando um som está acompanhado de outros cujas frequências não são múltiplos inteiros da fundamental eles são considerados vibrações aperiódicas.

Se fizermos um *blind test*, e pedirem para que identifiquemos o som de duas guitarras, uma elétrica e um violão com cordas de aço, facilmente saberemos qual instrumento é o acústico e qual é o elétrico. Todavia, como os dois instrumentos são parecidos e produzem formatos de onda similares, por que é tão fácil identificá-los? Instrumentos diferentes, mesmo que produzindo formatos de onda similares, terão a sua série harmônica própria, com a amplitude das suas parciais seguindo uma ordem de grandeza que irá definir o timbre do instrumento. Isso é o que acontece quando reconhecemos a voz de um determinado cantor, ator ou locutor, por exemplo. Quando fazemos um *blind test* com instrumentos diferentes (um trompete e uma flauta, por exemplo), fica ainda mais fácil distinguir entre eles, pois seus formatos de onda, também gerados pela amplitude dos seus harmônicos, são bem diferentes. Quando misturamos sons de instrumentos muito diferentes (um recurso comum em arranjos), produzimos sons com características próprias que nem sempre são similares aos sons de origem. Assim, um naipe de metais com trompete e saxofone soa bem mais diferente do que um naipe com trompete e trombone, pois o trompete e o trombone geram formatos de onda similares.

Por essa razão, é necessário termos cuidado, ao equalizarmos um instrumento, quando o seu sinal passa por uma mesa de som, pois equalizar é mexer em frequências, ou seja, nos sons fundamentais e na amplitude dos seus harmônicos e isso pode causar profundas alterações no som, que pode até

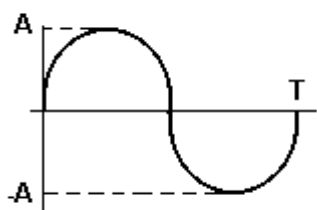
chegar a parecer outro instrumento. Equalizações devem ser feitas com muito cuidado.

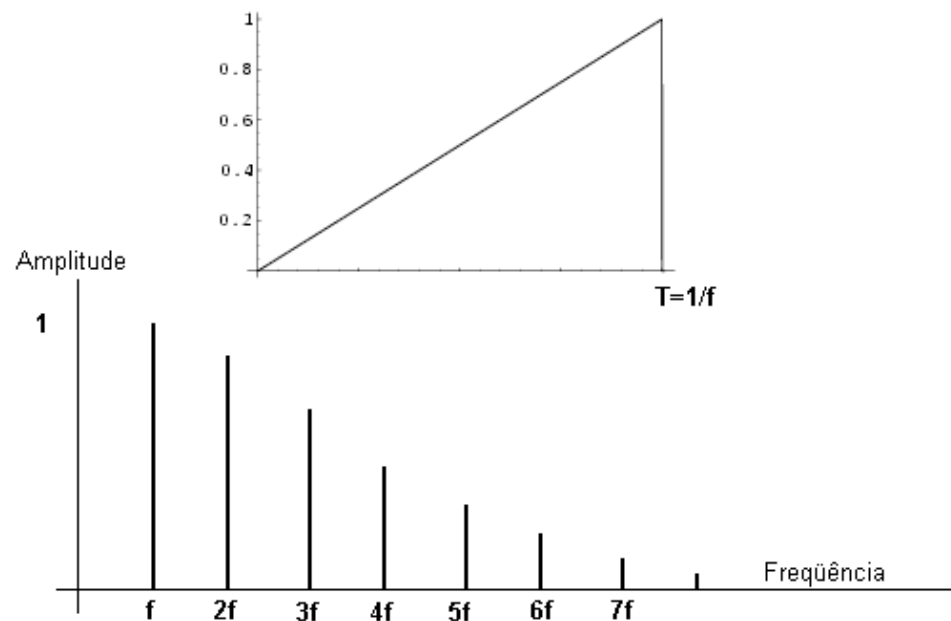
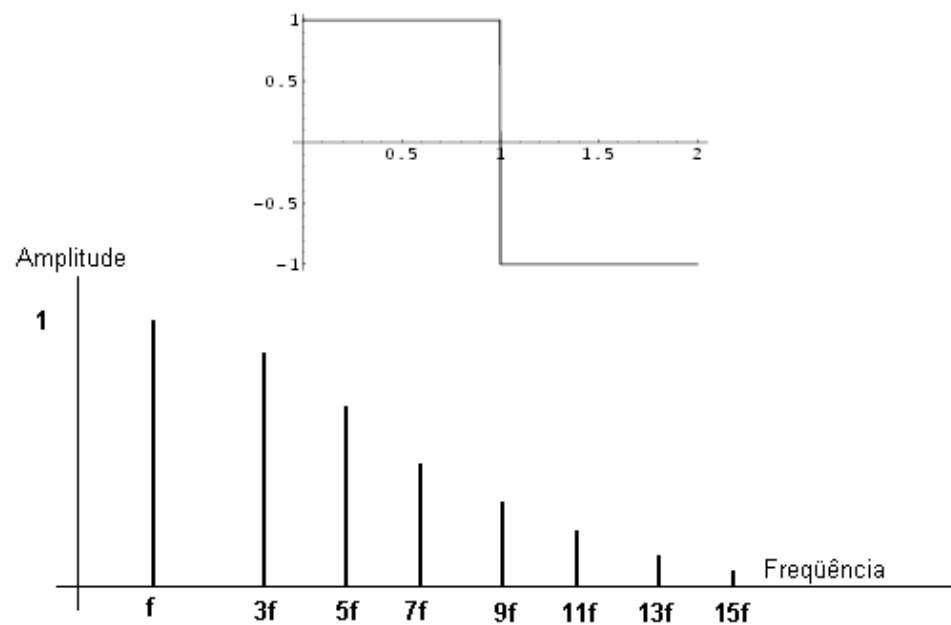
Um dos efeitos mais usados que se pode obter alterando a amplitude dos harmônicos é o de distorção. Distorcer um instrumento nada mais é que aumentar o volume dos harmônicos de modo que as parciais atinjam um volume próximo à amplitude da fundamental. Se nivelarmos o volume desses harmônicos ao mesmo patamar da amplitude da fundamental, além de alterarmos radicalmente o timbre inicial, perderemos a noção da própria fundamental, e, portanto, da nota que está sendo tocada. O resultado é próximo de um *cluster*. Para evitar o efeito de distorção exagerado, não se aumenta o volume das parciais muito além do terceiro harmônico.

8. **Formatos de onda**

Para as ondas, podemos fazer um paralelo com as cores primárias para a luz, que seriam vermelho, verde e azul. A partir das misturas entre essas cores obtemos as outras cores. No caso do som, pensamos em formatos de onda básicos, a partir das quais podemos criar ondas mais complexas.

Existem, basicamente, três tipos de onda:

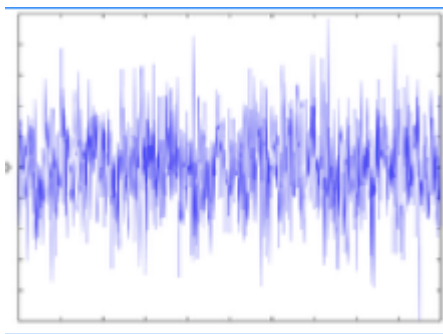
1. Onda senoidal (*sine wave*): é a onda mais elementar que existe. Teoricamente ela não tem parciais. Contudo, só é possível gerar uma onda senoidal pura, sem parciais, eletronicamente.

A= amplitude e T= tempo

2. Onda dente de serra (*sawtooth wave*): é a onda que possui parciais pares e ímpares. A onda dente de serra pode ser representada pelo seu conteúdo harmônico da seguinte forma:

3. Onda quadrada (*square wave*): é a onda com parciais ímpares.

9. Ruído

Quando um som não tiver as suas harmônicas, ou seja, suas parciais, nos múltiplos integrais que formariam a série harmônica (Fx1, Fx2, Fx3. etc.), chamamos a série de inarmônica e não percebemos neste som uma frequência definida, como uma nota musical. A estes sons de frequência não definida, chamamos ruídos. Os ruídos são extremamente importantes no universo do áudio profissional. Podemos dizer que os ruídos são os sons em que não percebemos um *pitch* definido, ou seja, não identificamos uma frequência fundamental, são inarmônicos. Quando percebemos ruídos que, é claro, contêm parciais, podemos dizer que essas parciais são números múltiplos de grandezas aleatórias.

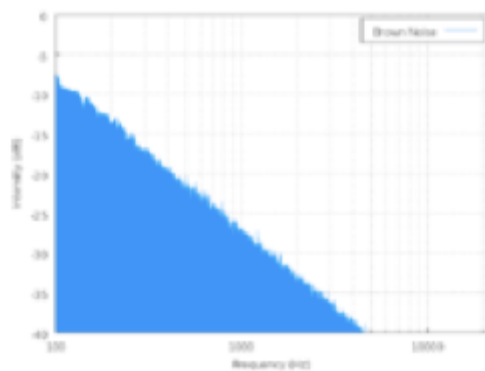
Assim como os sons harmônicos, os ruídos têm características distintas e aplicações específicas - e muitos são percebidos por nós como sons específicos (como os instrumentos de percussão), ou em outros casos, como os sons da própria natureza, como o ruído das ondas do mar, etc.

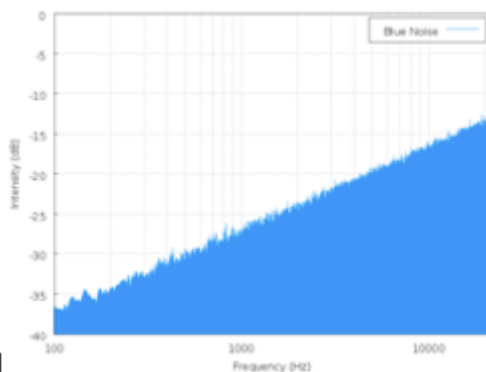
Os ruídos podem ter origem nos deslocamentos do ar (ruído produzido em um ambiente aberto ou fechado, onde a fonte sonora está em contato direto com quem o percebe). Mas podemos ter também os ruídos estruturais, gerados por vibrações em partes da estrutura de um ambiente provocadas, por exemplo, pela passagem de um trem ou do metrô.

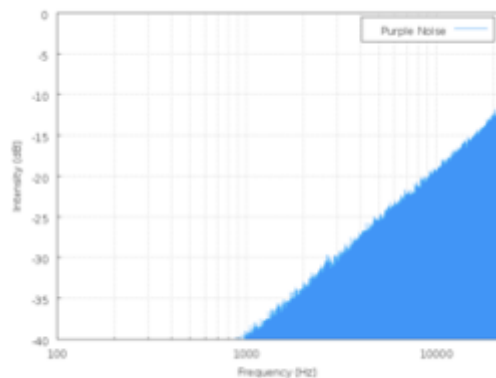
Para profissionais de áudio os ruídos têm algumas funções específicas como, por exemplo, o ruído branco (*white noise*), que é assim chamado numa alusão às frequências da luz branca. Assim como a luz branca possui todas as frequências (por isso, quando decompomos a luz branca obtemos todas as cores -arco-íris, prisma, etc.), o *white noise* possui todas as frequências.

Espectro harmônico do *white noise* em que temos verticalmente a representação da amplitude e horizontalmente a de frequências.

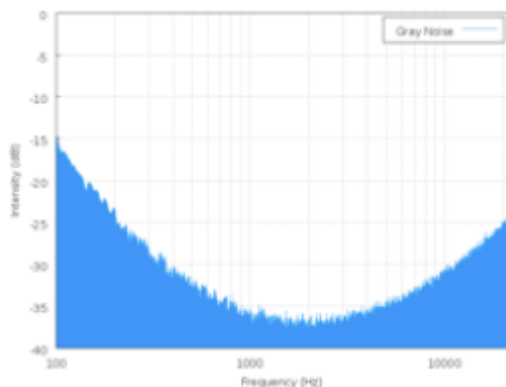
Temos também o ruído rosa (*pink noise*) em que, a cada oitava, há um decréscimo da metade da energia (3db).

Pink Noise

Com uma redução de 6db por oitava temos o ruído vermelho/marrom (*red/brown noise*).

Red/Brown Noise

Podemos ter uma inversão do ruído rosa, chamado de ruído azul (*blue noise*) em que a cada oitava há um incremento de 3db de energia.

Blue noise

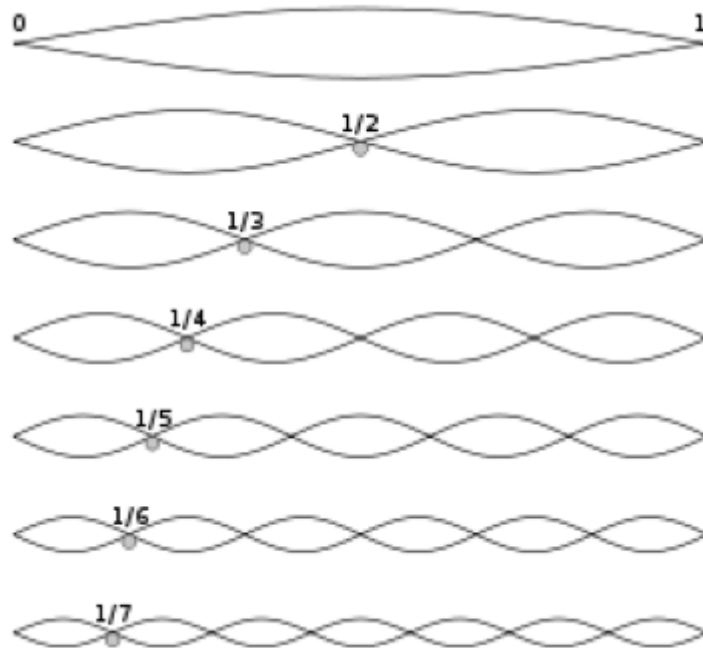
O ruído púrpura (*purple noise*) é o inverso do ruído vermelho.

Purple Noise

Já o ruído cinza (*Grey Noise)* está próximo da curva de *Loudness*.

Grey Noise

Todos esses nomes derivam de associações com as tabelas de cores e os todos esses ruídos tem muita utilidade para a fabricação, calibragem e medição de equipamentos de áudio.

10. Fase

Chamamos de fases os diferentes deslocamentos que os harmônicos causam em uma onda. Como o ciclo completo da senoidal (*sine wave*) ocupa 360º de um círculo, cada harmônico irá provocar um desvio medido em graus. O resultado final é a soma de todos os harmônicos juntos e seus desvios. Esse fenômeno é difícil de ser percebido, todavia, alguns equipamentos podem adicionar algumas alterações na produção dos harmônicos mais agudos (muitas vezes resultado de gravações rudimentares ou equipamento de

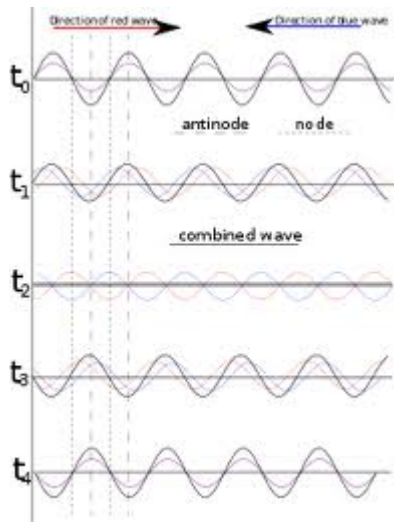
reprodução deficiente) e parciais mais agudas e distantes (perto do décimo harmônico) acabam chegando ao ouvinte antes da fundamental. Quando isso acontece em grandes proporções, o fenômeno do deslocamento da fase é percebido. Equipamentos ou *plug ins* conhecidos como *chorus*, *phaser,* etc. podem simular esse efeito, simulando suas características:

11. **Interferência do som**

Pode ocorrer quando um ponto do meio elástico recebe dois ou mais sons originados por várias fontes ou mesmo por reflexões de onda em obstáculos.

12. Ondas estacionárias

A superposição de ondas incidentes e refletidas num meio dá origem a uma interferência sonora chamada onda estacionária.

Suponhamos que num determinado meio se propague numa determinada direção uma onda sonora que incida perpendicularmente sobre um obstáculo, como uma parede. Essa onda é bruscamente detida originando-se daí outra

onda que é devolvida no sentido oposto ao da original e com sua fase invertida.

Como nessa onda não há transporte de energia, já que a passagem dela pelos nós não ocorre, a energia fica estacionária no meio. Portanto, uma onda estacionária é a soma de duas ondas progressivas, uma incidente e a outra refletida, que têm a mesma frequência e velocidade, mas se propagam em sentidos opostos.

Em uma onda progressiva, cada partícula da corda, seja qual for a sua posição, vibra com a mesma amplitude. Entretanto, a característica de uma onda estacionária está no fato de que a amplitude não é a mesma para diferentes partículas, variando com a posição que estas ocupam. Os pontos para os quais a amplitude é máxima são denominados anti-nodos, distanciados, entre si, de meio comprimento de onda ($\lambda/2$). E os pontos para os quais a amplitude tem valor mínimo igual a zero são denominados de nodos, também distanciados, entre si, de meio comprimento de onda. A distância de um nodo ao anti-nodo adjacente é de um quarto de comprimento de onda ($\lambda/4$).

Em frequências críticas, normalmente as baixas, os anti-nodos (ou ventres) podem provocar um reforço de até 20 dB (ou mais) na onda estacionária. Podemos evitar as ondas estacionárias com o uso de paredes não paralelas entre si, tetos feitos em degraus ou dentes e o uso de difusores poli-cilíndricos ou triangulares nas paredes.

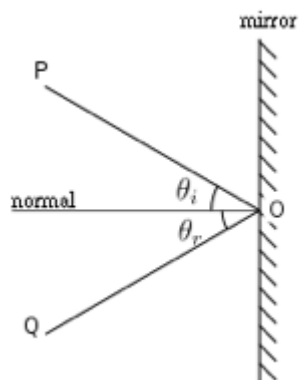
16. O batimento

O batimento ocorre quando ondas sonoras de frequência ligeiramente diferente interferem entre si. Neste caso, a intensidade varia de um som forte ouvido em determinado instante, para um silêncio em outro, novamente o som forte e assim por diante.

Os sons fortes ocorrem quando as ondas sonoras são construtivas, isto é: reforçam-se umas as outras em um mesmo momento. No instante silencioso a interferência é destrutiva, neste caso, ela poderá ser total ou parcial.

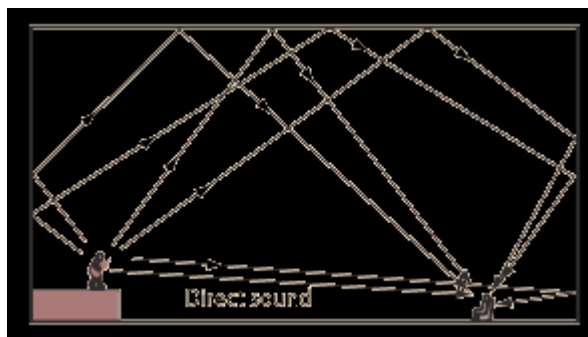
Normalmente o batimento provoca uma sensação auditiva desagradável, pois produz um som trepidante.

12. Reflexão

Quando uma frequência com suas respectivas parciais (harmônicos) se propaga em ambientes fechados, suas ondas encontram obstáculos - como paredes, por exemplo - nos quais irão refletir. O tamanho, formato e o tipo do material que compõe esses obstáculos irão interferir na forma como essa reflexão ocorre. Como o som viaja em várias direções, mas em linha reta, essas reflexões seriam como bolas de borracha arremessadas em uma parede.

Esta é a propriedade que pode provocar o fenômeno do eco e da reverberação. O ouvido humano só consegue distinguir dois sons que chegam a ele com um intervalo de tempo igual ou maior que 0,1 segundo. Em outras palavras: quando uma pessoa emite ou provoca um som e ouve, além do som

original, o reflexo deste vindo de uma barreira qualquer, ocorre o fenômeno do eco. Por outro lado, se o som refletido atinge a pessoa quando o som emitido estiver enfraquecendo, provocará um prolongamento da sensação auditiva a que se dá o nome de reverberação.

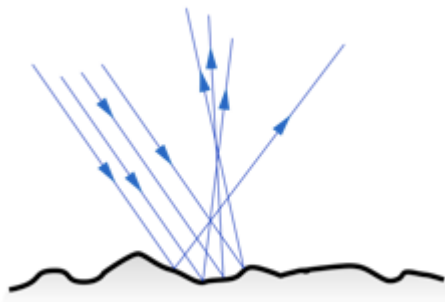
13. Reverberação

O conjunto de reflexões, levando-se em conta todas as frequências (inclusive os seus harmônicos), forma a taxa de reverberação de um ambiente. Os fatores que a influenciam são o volume da sala (expressos pela largura e pela altura do ambiente) e o coeficiente de absorção sonora do material no qual o som irá rebater. São os múltiplos sons refletidos que se somam ao emitido pela fonte sonora original, gerando alterações de timbre e ambiência. Essa série de reflexões é obtida em espaços fechados e influi dramaticamente em nossa percepção. Não se confunde com o eco, que é também uma reflexão que chega apenas após o som original ter se dissipado o suficiente para que percepção dele seja a de que se trata de outro som.

A reverberação influi tanto e estamos tão acostumados a ela que estranhamos completamente quando ouvimos um som seco, ou seja, sem nenhuma reverberação. Isso acontece provavelmente porque vivemos a maior parte do tempo em ambientes com alguma quantidade de reverberação. Em estúdios, a preferência é que gravemos áudio sem *reverb* - nome que se dá aos aparelhos ou programas que geram reverberação artificialmente. Depois de gravarmos, escolhemos o tipo e a quantidade (medida em tempo e quantidade de reflexões) de *reverb* que desejamos. Atualmente a maioria dos efeitos de reverberação é obtida com *plug ins* digitais, porém, durante muito tempo, para

simularem-se esses efeitos foram usados materiais com grande capacidade de reflexão - como placas de metal, etc.

14. Absorção

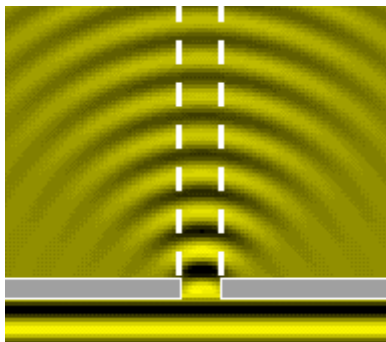
Podemos reduzir ou controlar as reflexões utilizando materiais que absorvam as ondas sonoras, como cortinas, cortiça, etc. Para tanto, basta que a nossa parede seja revestida de um material que absorva movimentos do ar.

Outra possibilidade é evitarmos que nossas paredes ou bordas sejam lisas, o que faria com que as reflexões se processassem de modo quase aleatório, levando à dispersão dessas ondas no ambiente.

17. Ressonância - Vibração simpática

Um exemplo clássico de ressonância é a quebra de uma taça de cristal quando uma determinada nota musical é emitida por um violino próximo a ela. Alguns materiais tendem a vibrar quando interagem com algumas frequências. Por exemplo, se pegarmos um diapasão e o batermos contra alguma superfície - fazendo-o vibrar - e o colocarmos próximo a outro diapasão idêntico, esse segundo diapasão irá também vibrar. Mesmo no caso de tocarmos uma nota grave de um piano e pisarmos no pedal de sustentação, algumas notas mais agudas, livres do abafador, irão também vibrar causando uma ressonância. Esse fenômeno é conhecido também como vibração simpática, ou ressonância, e pode ser problemático em partes estruturais de algumas construções, criando um ambiente sonoro indesejado.

A ressonância ocorre quando qualquer fonte geradora de som produz, no ar, vibrações que estimulam oscilações em corpos situados nas proximidades. Se a frequência da fonte geradora coincidir com a frequência que é a natural de um corpo, já que todo corpo possui uma frequência que lhe é peculiar, a frequência desse corpo atinge valores elevados, já que a fonte geradora cede energia a ele de forma progressiva.

18. Difração

É a propriedade que permite ao som contornar obstáculos com dimensões de até 20 metros. Como a velocidade do som no ar é de 340 m/s (em termos práticos) e o ouvido humano distingue frequências compreendidas entre **f1** = 20 Hz até **f2** = 20 kHz, o comprimento de onda do som no ar pode variar entre 20 m. e 0,02m. O som, ao se propagar, contorna obstáculos como portais, etc. Por essa razão podemos perceber sons mesmo não estando na presença da fonte emissora. Todavia, apenas chegarão ao outro ambiente as ondas que possam atravessar, ou passar, por alguma abertura.

Após passar para outro ambiente, as ondas se propagam em todas as direções.

19. Refração

A refração do som ocorre quando uma onda sonora produzida em um meio passa para outro onde sua velocidade de propagação é diferente do anterior. Temos refração quando o som muda de ambiente ou meio, como quando estamos submersos na água; mesmo assim, podemos perceber os sons, ainda que com

características diferentes, próprias do ambiente líquido. Neste caso a frequência permanece a mesma modificando-se somente seu comprimento de onda.

20. Efeito Doppler

Quem já assistiu a uma corrida de automóveis possivelmente reparou que, quando o primeiro som que ouvimos na aproximação do veículo é agudo, após sua passagem o que se percebe são frequências mais graves. A esse fenômeno chamamos de Efeito Doppler, em homenagem ao físico austríaco Christian Johann Doppler que, em 1842, imaginou o efeito - ainda que não tivesse os meios de prová-lo.

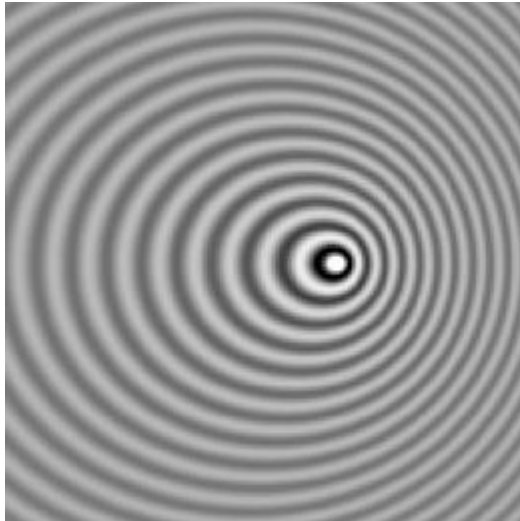
O efeito Doppler consiste na variação de frequência de um som quando:

A) O emissor está parado e o observador em movimento.

B) O emissor se move e o observador está parado.

C) Tanto o emissor, como o observador, estão em movimento.

Um exemplo clássico da ocorrência do efeito Doppler, é o de uma pessoa parada ao lado de uma ferrovia no momento em que uma locomotiva passa apitando. Essa pessoa nota que o som emitido pelo apito muda repentinamente de tonalidade, ou seja: ele vai de uma frequência alta (som agudo) para outra baixa (som grave) imediatamente após a passagem dessa locomotiva por ela.

O que acontece é que, quando a fonte sonora está em movimento (a velocidades acima dos 100km/h, tornando-se um fenômeno claramente perceptível perto dos 150 km/h) as ondas mais curtas (consequentemente de frequências mais altas) são empurradas no sentido do movimento, e na perspectiva de quem está estático, ouve-se com maior intensidade essas frequências. Já as ondas maiores (frequências mais graves) ficam soando após a passagem da fonte sonora.

Esse efeito é muito utilizado no cinema para aumentar a percepção de objetos em movimento - carros, flechas, etc. - mesmo quando esses objetos não estão - ou não atingem - grandes velocidades, como flechas por exemplo.

21. Amplitude e intensidade dos sons

A unidade logarítmica de percentual para medir o nível ou a intensidade do som com as quantidades elétricas associadas a ele é chamado decibel. O decibel é uma medida comparativa entre duas fontes sonoras e essa relação é expressa a partir de uma escala logarítmica. O dB é a décima parte de 1 Bel. Ele é o logaritmo da razão da intensidade sonora que está localizada abaixo do limiar da audição humana (10-12 W/m2). Esta é a definição comumente encontrada nas várias literaturas que abordam este assunto, porém, o decibel pode ser definido de outras duas formas bem mais simples:

1a - O decibel indica uma relação entre duas quantidades de potência: a elétrica e a acústica.

2a - O decibel fixa-se no conceito da multiplicação como forma de partida de uma pequena quantidade de potência para outra maior.

A noção de uma proporção entre duas quantidades de potência é simples. Se um amplificador A pode produzir 10 vezes mais o número de Watts que um amplificador B, a proporção entre as potências desses amplificadores será 10.

Se partirmos de um número pequeno, 2, poderemos chegar lentamente a um grande, 16, somando-se 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 = 16. Ou então poderemos chegar ao mesmo resultado de forma mais rápida através da multiplicação: 2 x 2 x 2 x 2 = 16. No primeiro caso estamos somando repetidamente um fator constante que é 2. Já no segundo, multiplicarmos repetidamente esse mesmo fator constante.

Ao utilizarmos o decibel estaremos empregando a multiplicação por um fator constante que é 10. Dessa forma, 10 dB irão indicar uma multiplicação por um fator constante de 10 e o resultado dessa multiplicação novamente será multiplicado por 10.

Por exemplo: O que significam 20 decibéis? 20 decibéis significam 10 dB + 10 dB. No caso da multiplicação por um fator constante que é 10, os 20 decibéis significarão 10 x 10 = 100. Exemplo: Se um som A estiver 20 dB mais alto que B, isto significa que A produz (10x10=100) vezes mais potência acústica que B, portanto a proporção entre as potências é 100. Desta forma, 10 dB representam uma proporção de potências igual a 10. Este princípio pode ser colocado em forma de tabela como a 1A, abaixo:

Figura 1A - Transformando decibéis em proporção entre potências em degraus de 10dB.

Decibéis	Proporção entre potências
10	10
20	100
30	1.000
40	10.000
50	100.000
60	1.000.000
70	10.000.000
80	100.000.000
90	1.000.000.000
100	10.000.000.000
110	100.000.000.000
120	1.000.000.000.000

Para transformar dB em proporção entre potências, acrescente um "zero" ao nº1, para cada 10dB.

Figura 1B - Transformando decibéis em proporção entre potências em degraus de 1dB.

Decibéis	Proporção entre potências
1	1,26
2	1,58
3	2,00
4	2,51
5	3,16
6	3,98
7	5,01
8	6,31
9	7,94
10	10,00

Cada proporção, exceto a primeira, é obtida através da multiplicação da proporção precedente por 1,26 (mais precisamente 1,25893)

Que proporção de potências representa 1 dB?

Resposta: 1,26. Analisemos essa resposta de maneira mais detalhada.

Se 100 dB são produzidos por 10 degraus de 10 dB cada, por analogia, 10 dB será o produto de 10 degraus de 1 dB cada. Veja essa proporção entre potências na tabela 1B. As tabelas 1A e 1B juntas nos permitem de maneira completa transformar decibéis em proporções de potência. Por exemplo:

Suponhamos uma proporção de 52 dB. A tabela 1A mostra que 50 dB representam uma proporção de potências de 100.000, enquanto que a tabela 1B mostra que 2 dB representam uma proporção de potências de 1,58.

Como somar decibéis significa multiplicar entre si as proporções correspondentes de potências, então teremos:

52 dB = 50 dB + 2 dB 50 dB = 100.000 2 dB = 1,58

Portanto: 100.000 x 1,58 = 158.000

Concluindo: 52 dB representa uma proporção de potências de 158.000.

O bom senso nos obriga a concluir que, ao expressarmo-nos em decibéis, utilizamos uma forma muito mais compacta e racional, comparada com proporções entre potências.

Curiosidade: Foi estabelecido através de medições, que a faixa dinâmica de uma orquestra sinfônica é de aproximadamente 120 dB. Isto mostra que as passagens mais fortes, em relação às mais fracas, durante a execução de uma peça musical, correspondem a uma proporção entre potências de 1.000.000.000.000 vezes!

22. O decibel e a audição humana

Em termos de reprodução sonora o acréscimo de 1 decibel é praticamente imperceptível ao ouvido humano. Observou-se que o nível de um som precisa ser acrescido por volta de 3 decibéis para que um ouvido humano normal sinta uma variação na sensação auditiva.

Mesmo levando-se em conta que 3 decibéis representam a duplicação do nível sonoro, o ouvido necessita de grandes acréscimos de potência para que um som provoque uma reação sensível. Assim sendo, se partirmos de 1 watt para 2, de 2 para 4, de 4 para 8 ..., nota-se a duplicação de potência ou

acréscimos de 3 dB entre cada um dos valores, havendo dessa maneira um aumento proporcional na sensação auditiva.

Porém, se partirmos de 1 watt para 2, de 2 para 3, de 3 para 4 e assim sucessivamente, o acréscimo será percebido muito mais lentamente. Nesta última forma a progressão é aritmética, mas o ouvido humano responde logaritmicamente às variações de potência.

Por isto, na prática podemos dizer que cada 3 dB acrescidos numa fonte sonora significará o dobro de nível no som gerado por tal fonte. Assim, quando aumentamos 3db, estamos dobrando a quantidade de energia, mas se quisermos ouvir com o dobro do volume, temos de incrementar em 10db.

23. Decibéis negativos

Várias vezes os decibéis se apresentam como números negativos. A negatividade do dB simplesmente indica a comparação de uma potência menor com uma maior. Normalmente o decibel negativo aparece especificado nas características técnicas nos manuais de equipamentos. Vejamos dois exemplos:

1) Digamos que nas especificações técnicas de um amplificador, o ruído na entrada é de menos 70 dB para sinais de alto nível. Isso quer dizer que o ruído gerado pelo pré-amplificador está 70 dB abaixo do sinal desejado ou que a relação entre eles é 1/10.000.000 de vezes.

2) Outra maneira de ter o decibel na forma negativa, é considerando-o como um divisor ao invés de multiplicador de potências. Assim, se 10 dB significam multiplicar por 10, menos 10 dB significará dividir por 10, de maneira que a potência ficará reduzida a 1/10 do seu nível original.

Usando o exemplo anterior, menos 70 dB indica que para alcançarmos o nível do ruído deveríamos dividir a potência do sinal principal por 10.000.000.

24. O decibel e o nível de pressão sonora

O decibel, quando empregado para indicar o nível de ruído ambiental (fábricas, ruas, escolas, hospitais, estúdios, etc.), é referenciado através da intensidade mínima que permite a uma onda sonora ser percebida pelo ouvido humano 10-12W/m2 (um décimo de quatrilhão de Watt por metro quadrado).

Em tais medições é utilizado o dB SPL (Sound Pressure Level) ou Nível de Pressão Sonora. Um medidor de decibéis é chamado de decibelímetro e, como o decibel mede a relação entre dois sons, parte de uma medida arbitrária de um volume considerado mínimo (marcado 0db) e um máximo suportável (120db). É possível que tenhamos a percepção de sons abaixo e acima desses limites, mas estes são muito úteis para a medição de som em um ambiente.

Podemos ter uma tabela de referência para a escala de db SPL:

dbSPL	Fonte sonora
120	Limite suportável a 500m de uma turbina de avião.
118	O som mais alto dentro de uma sala de cinema digital - Concerto de Rock.
90-95	O som mais alto dentro de uma sala de cinema analógica - Ruído dentro de uma estação de trem/metrô.
80-90	O som mais alto de um aparelho de televisão - Ruído médio de uma

	fábrica (depende da fábrica).
75	O volume médio dos diálogos de um filme - Tráfego na cidade (depende da cidade).
65	O volume médio de uma conversa frente a frente.
50	Ruído normal de uma cidade.
30	Ruído normal de um lugar sossegado fora da cidade – Biblioteca.
20	Ruído de uma camêra de filmagem a uma distância de 1 m – Sussurro.
0	Volume limite mínimo para audição.

Considerações finais

O som se propaga por movimentos do ar. Quanto maior a amplitude – o volume de ar viajando - mais longe o som poderá ser percebido. O ar que se movimenta na propagação de um som, ao encontrar uma barreira - uma parede, por exemplo - rebate e viaja, com amplitude menor, na mesma direção, mas com o sentido inverso de onde o som partiu. Se um som que está voltando, encontra-se com um som viajando em sentido oposto eles podem sofrer alterações profundas, podendo alterar completamente a compreensão sonora desejada.

Algumas dessas alterações podem ser:

A) Cancelamento de fase: quando um onda de tamanho X se encontra com uma onda com as mesmas características e tamanho (X), mas de polaridade invertida, ou seja, a onda viaja com o movimento do ar exatamente contrário ao som original. O resultado produzido é o silêncio.

B) Frequências com o volume aumentado: quando uma onda com frequência X - fundamental ou harmônico - se encontra com outra onda com a mesma frequência e há um efeito de somatória entre as duas, fazendo com que essa frequência ganhe em amplitude.

C) Bounce (*Standing Waves*): quando uma onda, ou melhor, a metade do ciclo dela, ou alguma de suas primeiras parciais tem o mesmo tamanho da distância entre duas paredes. Nesse caso, algumas frequências podem ter cancelamento de fases ou o volume aumentado exageradamente alterando o resultado sonoro desejado.

Vários desses efeitos indesejados podem ser eliminados, ou reduzidos, se tomarmos algumas medidas simples para salas de execução musical, estúdios de gravação ou cinemas - como serem construídas com materiais de absorção sonora: madeira, cortiça, *sonex*, etc. Outra providência simples é evitar, nas salas próprias para a execução musical, paredes paralelas e lisas. Com paredes de formatos variados e sem paralelismos, conseguimos fazer com que as reflexões sejam aleatórias, não afetando, portanto, o resultado final desejado.